

doi: 10. 20008/j. kckc. 202308011

综合地球物理方法在赛坝沟地区矿产地质调查中的应用

符坚^{1,2,3}, 张景业^{1,2,3}, 梁家乐^{1,2,3}, 娄彬¹

(1. 河南省第一地质矿产调查院有限公司, 河南 洛阳 471023; 2. 河南省金银多金属成矿系列与深部预测重点实验室, 河南 洛阳 471023; 3. 自然资源部贵金属分析与勘查技术重点实验室, 河南 洛阳 471023)

摘要 本文基于赛坝沟地区1:5万矿产地质调查工作, 初步查明研究区磁场总体特征及磁异常分布特征, 了解磁场与构造、岩石及矿产的相互联系, 结合地质和化探工作, 筛选重要异常, 为地质找矿提供有利靶区。通过1:5万高精度磁测扫面, 快速圈定磁异常, 采用大比例尺磁测剖面 and 激电中梯剖面进行异常查证, 对C-1典型异常进行成因分析和异常体埋深的半定量解释, 系统总结了研究区地质特征和磁场特征, 圈定磁异常区10处, 并对C-1异常进行工程验证。研究结果证明综合地球物理方法在该区矿致异常圈定中的有效性和适用性, 同时总结了异常圈定的基本方法和经验, 对成矿地质背景相似地区的找矿工作, 具有一定的指导意义。

关键词 赛坝沟地区; 高精度磁测; 激电中梯; 异常圈定; 矿产地质调查

中图分类号: P631 文献标志码: A 文章编号: 1674-7801(2023)08-1440-10

The application of comprehensive geophysical methods to mineral geological survey in Saibagou region

FU Jian^{1,2,3}, ZHANG Jingye^{1,2,3}, LIANG Jiale^{1,2,3}, LOU Bin¹

(1. Henan First Geology and Mineral Survey Institute Co., Ltd., Luoyang 471023, Henan, China; 2. Key Laboratory of Au-Ag-Polymetallic Deposit Series and Deep-seated Metallogenic Prognosis of Henan Province, Luoyang 471023, Henan, China; 3. Key Laboratory of Precious Metals Analysis and Exploration Technology, MNR, Luoyang 471023, Henan, China)

Abstract: Based on the work of 1: 50000 mineral geological survey in Saibagou region. The general characteristics of magnetic field and distribution characteristics of magnetic anomalies in the survey area are preliminarily identified, and the interrelationship between magnetic field and structure, rocks and minerals is understood. In combination with geological and geochemical exploration work, important anomalies are screened to

[收稿日期]2022-01-25; [修回日期]2022-05-27

[基金项目] 本文受中国地质调查局项目“青海省乌兰县赛坝沟地区J47E020009、J47E020010两幅1:5万区域地质矿产调查”(12120114018216)资助。

[第一作者简介] 符坚, 男, 1987年生, 工程师, 主要从事地球物理勘查和矿产勘查工作; E-mail: zjy2510@126.com。

[引用格式] 符坚, 张景业, 梁家乐, 娄彬. 2023. 综合地球物理方法在赛坝沟地区矿产地质调查中的应用[J]. 矿产勘查, 14(8): 1440-1449.

Fu Jian, Zhang Jingye, Liang Jiale, Lou Bin. 2023. The application of comprehensive geophysical methods to mineral geological survey in Saibagou region[J]. Mineral Exploration, 14(8): 1440-1449.

provide favorable prospecting targets. Through 1:50 000 high-precision magnetic survey surface scanning, the magnetic anomaly was quickly delineated, the anomaly was verified by large-scale magnetic survey profile and IP midscale profile, the cause analysis of the C-1 typical anomaly and the semi-quantitative interpretation of the depths of abnormality were carried out, the geological characteristics of the study area and the characteristics of the magnetic field were systematically summarized, ten magnetic anomaly areas were delineated, and the C-1 anomaly was verified by engineering. The results prove the validity and applicability of the comprehensive geophysical method in the delineation of ore-induced anomalies in this area, and summarize the basic methods and experience of the delineation of anomalies, which has certain guiding significance for the areas with similar metallogenic geological background.

Keywords: Saibagou region; high-precision magnetic survey; induced polarization intermediate; delineation anomaly; mineral geological survey

0 引言

目前,在矿产勘查中,重、磁、电、震、核等地球物理方法得到广泛的应用,形成完整的工作流程和技术标准,地球物理勘探设备、方法理论发展迅速(吴其斌等,2015;张振宇等,2021)。具体到区域矿产调查工作中,部署快速、高效、经济的地球物理方法显得至关重要,一般采用面积性测量和剖面测量相结合的方式开展异常调查和查证。面积性测量工作多采用高精度地面磁测,直接寻找一定规模的强、弱磁性矿产(张平等,2016;思积勇等,2021),或研究控矿地质构造进行间接找矿,结合地质与化探信息,寻找隐伏矿产和圈定异常靶区;剖面测量针对异常查证部署,一般采用高精度磁测、电法、电磁法、高精度重力等方法,对具有一定规模、意义的物探异常区,核实异常的真实性。

赛坝沟地区大地构造位置处于青藏高原东北缘柴达木盆地北缘,行政区划属于青海省海西州乌兰县,距乌兰县城约32 km,地理坐标为东经 $98^{\circ}00' \sim 98^{\circ}30'$;北纬 $36^{\circ}40' \sim 36^{\circ}50'$,研究区面积约820 km²。自20世纪60年代,该区域先后开展过1:20万的区域地质调查工作和局部的1:5万地质调查工作,地质工作程度整体较低。

赛坝沟地区位于乌兰断裂的托莫尔日特山金矿带上,该成矿带成矿地质条件优越,许多学者对区域成矿特征、控矿演化模式、同位素特征、韧性剪切带特征、构造应力场特征、成矿流体特征等进行过详细研究(张拴宏等,2001,2002,2003;赖华亮等,2020;唐名鹰等,2021),取得了一系列的研究成果,发现重要金、铜矿床和矿点多处,并对赛坝沟地区成矿地质特征、成矿时代、典型金矿床的原生晕

特征进行了研究,并开展找矿预测研究(丰成友等,2002;童海奎等,2009;唐名鹰等,2016;张玉瑜等,2018)。为快速圈定找矿预测区,本研究采用面积性测量工作快速圈定异常范围,综合地球物理方法进行精细剖面解释和异常查证,布置少量工程验证磁异常区矿化特征,提高矿致异常的解释精准度,形成综合地球物理方法在矿产地质调查工作中的经验方法,以及磁异常的圈定原则,为后续矿产勘查工作提供翔实准确的基础资料,对类似成矿地质条件地区的矿产勘查工作具有一定的指导意义。

1 地质概况

青海省乌兰县赛坝沟地区查查香卡—托莫尔日特一带位于青藏高原东北缘柴达木盆地北缘,属华北地层大区—秦祁昆地层区—柴达木地层分区—柴达木北缘地层小区(图1),为乌兰断裂的托莫尔日特山金矿带的一部分,北西向沿托莫尔日特山分布,形成金、铜矿集区,主要矿层为滩间山岩群变火山岩和蛇绿混杂岩灰色中粗粒角闪斜长花岗岩,滩间山岩群大量的中基性火山岩及有关的热液喷流沉积岩带来丰富的铜、金、铅、锌等多种金属元素,为后期成矿奠定了物质基础,是区内中基性火山岩型及叠加改造型金属矿产形成的重要条件。同时由于所夹的碳酸盐岩是矿液沉淀交代的有利场所,所以该地层也成为后期成矿的赋矿地层。区内小型矿床、矿(化)点较多,金、铜、钴异常发育,成矿条件较好。

1.1 区域地质背景

区内出露地层主要为中元古界沙柳河岩群、早古生界滩间山岩群,晚古生界牦牛山组、怀头他拉

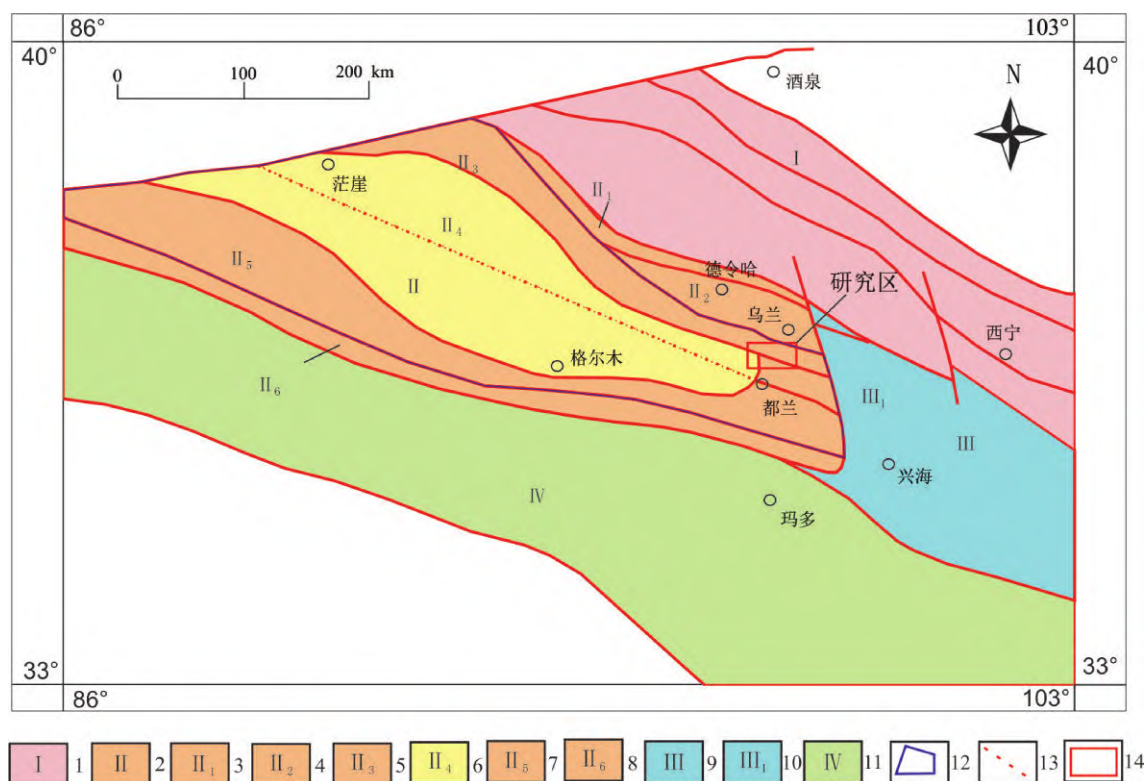


图1 研究区大地构造位置图

1—祁连山地层分区;2—柴达木地层分区;3—宗务隆山地层小区;4—欧龙布鲁克地层小区;5—柴北缘地层小区;6—柴达木盆地地层小区;7—柴南缘地层小区;8—东昆南地层小区;9—西秦岭地层分区;10—兴海—共和地层小区;11—巴彦喀拉地层分区;12—柴达木盆地范围;13—推断构造;14—研究区范围

组、克鲁克组,新生界古近系—新近系干柴沟组、新近系油砂山组及第四系(孙崇仁,2008)。中元古界沙柳河岩群主要分布于泽日肯一带,呈北西向展布,岩性主要为黑云斜长片麻岩、二云斜长片麻岩、云母石英片岩,原岩为一套基性火山岩及碳酸盐岩建造;寒武系—奥陶系滩间山岩群变火山岩组主要分布于中北部巴乌兰布拉格一带、中部下义山四周及南部夏乌日塔多仁吉一带,呈北西—北西西向展布,主要为一套低绿片岩相变质的中—中基性火山岩类;上泥盆统牦牛山组下段主要分布于查查香卡西北部一带,岩性主要为灰褐色砾岩、岩屑砂岩;石炭系怀头他拉组岩性主要为生物碎屑灰岩;新近系油砂山组主要分布在查查香卡东北部一带,岩性为土黄色、黄绿色泥岩、砂质泥岩夹薄层泥灰岩;第四系主要分布在研究区西南部,主要为山麓堆积层和全新统堆积物(图2)。

区内岩浆岩较为发育,主要分布在托莫尔日特地区,侵入时代为元古宙—石炭纪,岩性主要为中细粒正长花岗岩、二长花岗岩、斑状花岗岩、中细粒

闪长岩、斜长片麻岩等;岩脉多以单脉状出现,局部成群出现,岩石类型以闪长玢岩为主,辉长岩脉、石英脉次之。

区内大致划分为泽日肯隆起、托莫尔日特蛇绿混杂带、都兰湖断陷盆地3个构造单元。区内构造多为脆性断裂,不发育,较具规模的断裂为南夏乌日塔—多仁吉南断裂和泽日肯断裂。南夏乌日塔—多仁吉南断裂,逆冲断层,为泽日肯隆起的北部边界,走向北西西,倾角约 45° ,长度约15 km,宽20~50 m,发育碎裂岩及碎裂岩化岩石,破劈理发育;泽日肯断裂,逆冲断层,走向北西,倾角约 48° ,长度约9.5 km,宽10~50 m,断带发育碎裂岩及角砾岩。

研究区内的金、铜矿床分布相对集中,矿体主要分布在断裂构造交汇部位的次级构造裂隙中,沿次级构造裂隙断续分布有石英脉,脉体在走向上明显。主要矿床类型为石英脉型、构造蚀变型,各类型矿床的围岩蚀变具有相似性,以黄铜矿化、黄铁矿化、方铅矿化为主。区内赛坝沟金矿床、乌达热

乎金矿床、拓新沟金矿床成因为热液、岩浆热液型,赋矿岩性为英云闪长岩、蛇绿混杂带,均受北西向断裂控制,在断裂与次级断裂交汇区域,具备成矿

热液流通和容矿空间,热液成矿作用明显,构造蚀变强烈,矿床成因与构造蚀变关系密切,是形成大型矿床的有利地段。

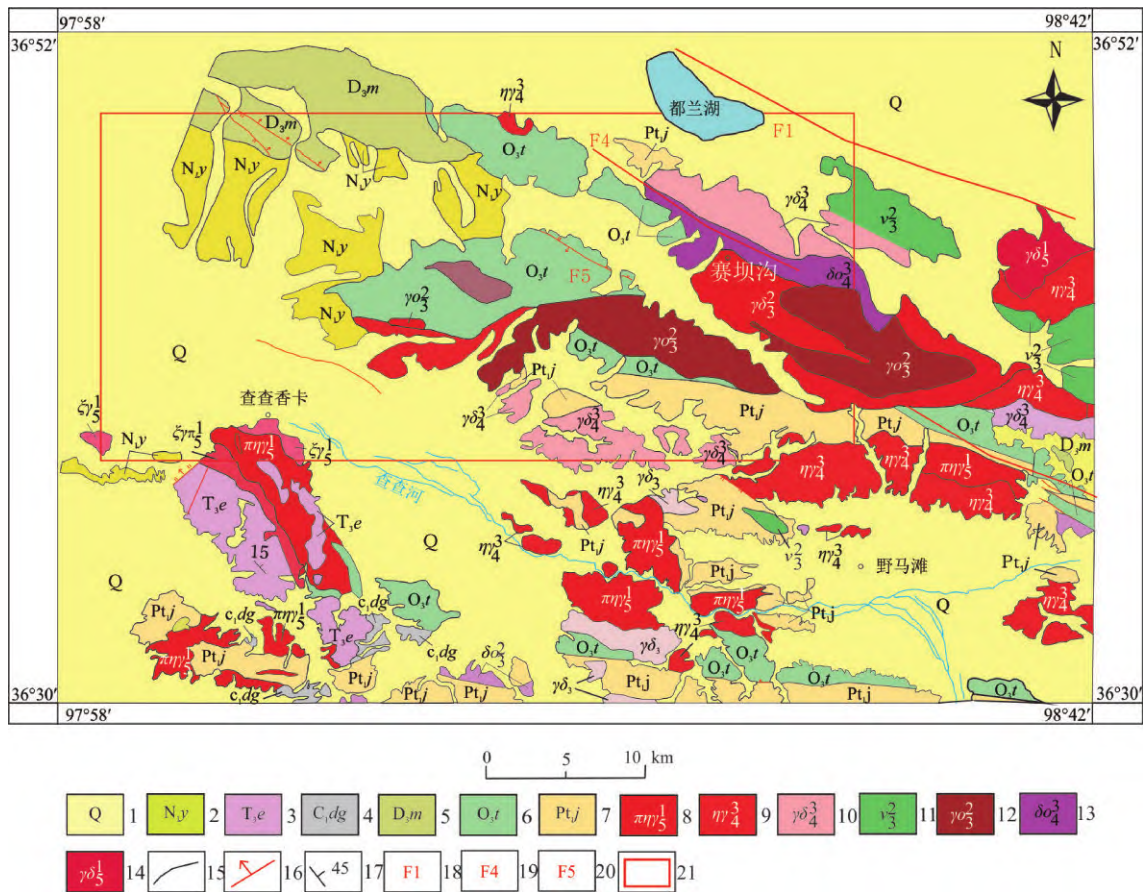


图2 研究区地质图

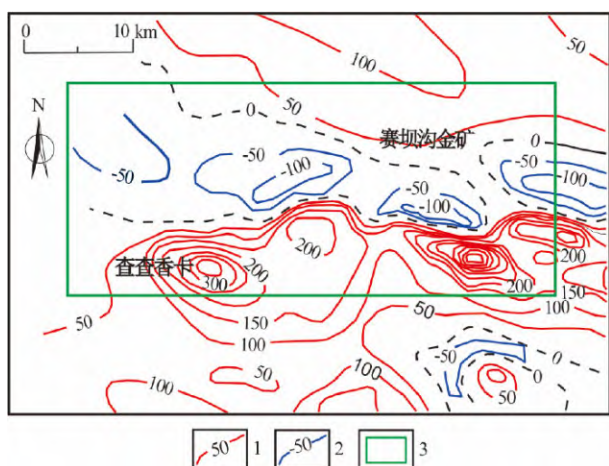
1—第四系;2—中新统油砂山组;3—上三叠统鄂拉山组;4—下石炭统大干沟组;5—上泥盆统牦牛山组;6—上奥陶统滩间山群;7—古元界金水口群;8—印支期二长花岗岩;9—华力西期二长花岗岩;10—华力西期花岗闪长岩;11—加里东期辉长岩;12—加里东期斜长花岗岩;13—华力西期石英闪长岩;14—印支期花岗闪长岩;15—地质界线;16—断裂;17—地层产状;18—尕海—乌兰深断裂;19—哇洪山西缘(温泉断裂);20—南戈滩—乌兰滩隐伏断裂;21—研究区范围

1.2 地球物理特征

区域航磁 ΔT 异常的总体分布趋势呈近东西向,以低缓磁异常为主,查斯那嘎顺—赛坝沟为负异常,南部、北东部为正异常,异常幅值-120~+500 nT。宏观上研究区内分布有两个大的正磁异常区和一个负磁异常区;区域重力异常特征为一个中心低缓正东向半封闭低值异常区,宏观上呈北高南低、东西高中间低的特征,布格重力等值线总体走向为北东向,重力剩余异常值总体上呈中北部异常高梯度缓、东西南三方向异常变低梯度变陡的特点,高值带与盆地之间的梯级带基本与昆北断裂和

柴北断裂带吻合(图3,图4)。

根据区域资料对主要地层岩性磁性参数统计(表1、表2),区内地层磁性特征如下:以砂岩、页岩、灰岩为代表分布的沉积岩类,基本无磁性;火山岩具有磁性,但磁性变化较大,磁化率平均值为 $0 \sim 5071 \times 10^{-5}$ SI,其中酸性火山岩磁性弱,与正常沉积岩类磁性相当,而中基性火山岩磁性普遍较强;变质岩类磁性普遍不强,磁化率平均值小于 35×10^{-5} SI,与正常沉积岩类似,但部分变质岩受岩浆侵入影响磁性增强,例如处在侵入接触带的矽卡岩磁化率平均值为 3857×10^{-5} SI;各时代侵入岩磁性差异较大,磁化率均值变化为 $0 \sim 7310 \times 10^{-5}$ SI,具有随基性

图3 区域航磁 ΔT 异常图

1— ΔT 正值等值线(nT);2— ΔT 负值等值线(nT);3—研究区范围

程度增高而磁性增强和同类岩性磁性差异悬殊的特点,如花岗岩均值变化为 $390 \times 10^{-5} \sim 3103 \times 10^{-5}$ SI;磁铁矿的磁性最强,磁化率均值变化为 $9555 \times 10^{-5} \sim 162917 \times 10^{-5}$ SI,同时普遍具有剩磁,含磁铁矿砂卡岩、含磁黄铁矿片麻岩、含铁石英片岩等磁性与磁铁矿含量多少呈正相关,磁化率均值变化为 $961 \times 10^{-5} \sim 26006 \times 10^{-5}$ SI,褐铁矿磁性较弱,磁化率均值

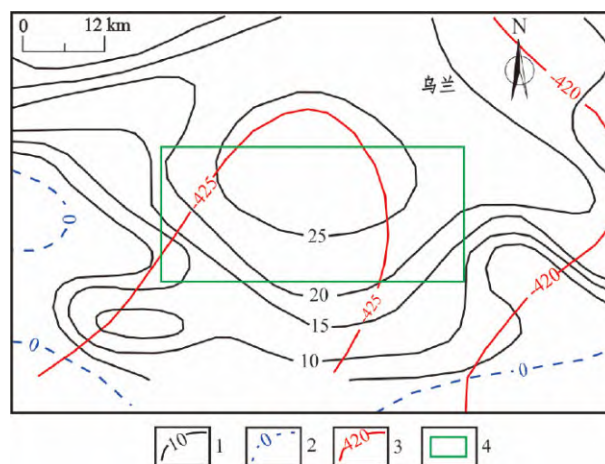


图4 区域重力异常图

1—重力剩余异常正等值线(10^{-5} m/s²);2—重力剩余异常零值线(10^{-5} m/s²);3—重力区域等值线(10^{-5} m/s²);4—研究区范围

为 1633×10^{-5} SI。

正常沉积岩和大部分变质岩磁性较弱,大部分侵入岩和中基性火山岩磁性较强,磁铁矿磁性最强,可引起磁异常。因此,高磁异常特征和磁场梯度带是本次重点研究目标。

表1 区内地层磁性特征

界	系(统)	岩石类型	磁化率/ 10^{-5} SI	剩磁强度/ 10^{-3} A/m
中生界	白垩系	红层	无磁性	
	侏罗系	煤系地层	无磁性	
	上三叠统	安山岩	364~5350	120~3100
		火山碎屑岩	2261	7900
		火山岩	628~3140	
	中三叠统	含磁铁矿绿泥石化安山岩	3894	80000
上古生界	二叠系	辉绿岩	1507	660
		磁铁矿化火山岩	37680~113040	
	石炭系	沉积岩	无磁性	
	上泥盆统	安山岩	176~608	
下古生界		浅变质片岩	355~3016	1055~2320
元古界		角闪岩	8792~35796	330~3640
		片岩、片麻岩	377~2261	100~1100
		角闪岩、角闪片岩	0~14444	150~3000

2 矿产地质调查的综合物探工作

本次矿产地质调查的综合物探研究工作,首先开展1:5万面积性高精度磁测工作,分析研究区内

总体磁场特征,总结区内断裂、隐伏岩体的磁场特征,圈定磁异常区;其次对圈定的异常区,采用大比例尺磁测剖面 and 激电中梯剖面进行异常查证。

1:5万面积性高精度磁测工作采用500 m×100 m规则网布设,依照《地面高精度磁测技术规程

表 2 区内岩石磁参数统计

岩(矿)石名称	标本块数	K/10 ⁻⁵ SI			Jr/10 ⁻³ A/m		
		极大值	极小值	几何均值	极大值	极小值	几何均值
灰岩	24	0	0	0	0	0	0
砂岩	15	0	0	0	0	0	0
页岩	2	0	0	0	0	0	0
大理岩	16	0	0	0	0	0	0
角岩	23	0	0	0	0	0	0
砂卡岩	47	52375	0	3857	3702	0	250
粗砂岩	23	—	—	1485	—	—	438
石英岩	38	—	—	5071	—	—	896
绿片岩	46	5240	178	1923	638	35	167
变砂岩	55	15426	0	2398	2003	0	258
凝灰质片岩	9	23995	146	1568	2206	50	324
斜长角闪片岩	95	19468	325	1637	1481	8	173
火山岩	35	10107	416	1827	608	21	225
混合岩	7	1910	1482	1683	210	162	184
超基性岩	65	8231	302	1870	2300	32	416
安山岩	34	3881	440	2682	174	8	96
砂卡岩化安山岩	10	3781	222	1118	225	9	33
英安岩	109	1344	0	388	247	0	11
英安质凝灰岩	286	52375	0	77	3702	0	32
片麻岩类	114	2731	35	651	774	17	128
花岗岩	92	2512	0	234	1250	0	16
花岗斑岩	3	0	0	0	0	0	0
片麻状花岗岩	8	—	—	907	—	—	78
二长花岗岩	56	1842	1233	1430	219	79	120
黑云母斜长花岗岩	21	2146	502	1180	378	24	126
长英斑岩	7	126	0	0	48	0	0
花岗闪长岩	33	3881	440	915	174	8	115
花岗闪长斑岩	11	1746	0	641	10	0	7
闪长玢岩	33	1407	0	268	29	0	3
闪长岩	164	28637	0	1820	398	0	28
角闪岩	6	11543	2776	7310	659	24	62
辉石橄榄岩	7	8239	2248	4478	484	92	167
含磁铁矿砂卡岩	19	116431	6657	26006	2826	0	534
含磁黄铁矿片麻岩	11	4134	68	961	2453	59	96
含铁石英片岩	37	105253	945	21460	14650	10	527

(DZ-T 0071-93)》(中华人民共和国地质矿产部, 1993)开展野外工作,精测剖面采用 1: 10000 比例尺,测量参数为地磁总场 T ; 激电中梯剖面测量依照《时间域激发极化法技术规程(DZT 0070-2016)》(中华人民共和国国土资源部, 2016)执行,施工参

数为供电极距 $AB=1500\text{ m}$,测量极距 $MN=40\text{ m}$,点距 40 m ,正反向标准直流脉冲供电,供电周期 32 s ,断电延时 300 ms ,宽度 40 ms ;采集参数为:供电电流 $I_p(\text{mA})$,一次场电压 $V_p(\text{mV})$,视极化率 $\eta_s(\%)$,视电阻率 $\rho_s(\Omega\cdot\text{m})$ 。

2.1 1:5万高精度磁法测量

根据赛坝沟地区1:5万高精度磁测成果,其 ΔT 异常特征如图5所示,南部高磁区表现为大面积中高值磁异常,北西向椭圆状异常,轴向北西,异常值高,梯度平缓,推断为下部超基性岩体引起,紧邻东部为块状杂乱异常,异常强度从负几百到正几百纳特,地表的石炭纪花岗岩、滩间山群火山岩磁性分布很不均匀,是造成杂乱异常的主要原因;东南部高磁区分为南部条带状正磁异常及东部椭圆状异常,东部异常轴向东,异常强度变化较大,异常形状与英云闪长岩的分布空间上有很好的套合性;南部异常跳跃剧烈,异常强度大,主要由英云闪长岩及滩间山群火山岩引起;北东部磁异常区表现为沿着北西向断裂分布的串珠状、岛屿状异常,正异常强度在一百到两百纳特,地表主要为斜长角闪岩一角闪片岩、滩间山群火山岩,根据磁标本数据,其磁性中低,加之区内构造发育,原岩磁性被破坏、强度降低,磁性分布很不均匀;中西、北东部负磁区表现为大面积宽缓负磁异常,强度主要集中在负一百到负几百纳特之间,西部为厚大新生代沉积物的磁响应,中部、北东部为新生代覆盖及断裂构造综合所致。

通过对区域断裂构造特征与磁异常特征对应关系总结,在磁场梯度带、有明显方向的线性异常带(异常值可正可负)、串珠状负磁异常条带、不同

磁场区的分界线等区域,推断为断裂构造,根据不同标高的上延特征,利用垂向导零值线分布特征判断构造倾向,根据上述推断原则,共推断断裂3条。

隐伏岩体的磁场特征在区内表现为地表为第四系等覆盖,磁测资料显示为高磁异常,或者出露岩石磁性较低,深部显示有高磁异常,根据上述推断原则,共推荐隐伏岩体1个,位于查查香卡北部,磁场表现为椭圆状高磁异常,长轴方向北西,极值超过1000 nT;通过化极、延拓等处理发现其倾向北东。

理论上高于或低于三倍磁测总精度(10 nT)可列为异常,结合地质背景确定研究区综合圈定异常的原则:(1)一定规模的孤立的正磁异常区域;(2)一定规模的伴生正负磁异常;(3)由紧邻性质相似或延拓后发现深部为一个地质体引起的磁异常;(4)基岩本身磁性强度低,但在断裂带附近有较高正磁异常。根据上述异常圈定原则,共圈定10处磁异常区(表3),其分布情况如图5所示。

2.2 大比例尺综合物探剖面磁异常查证

根据C-1异常的 ΔT 异常特征等值线平面图(图5),磁场总体表现为中部高,南北低,南部缓,北部陡。中部高磁区域为椭圆状,面积约2 km²,异常极值大于1000 nT,数值主要集中在600~800 nT,东西两侧未封闭,无伴生负异常。南部磁场较为宽缓,

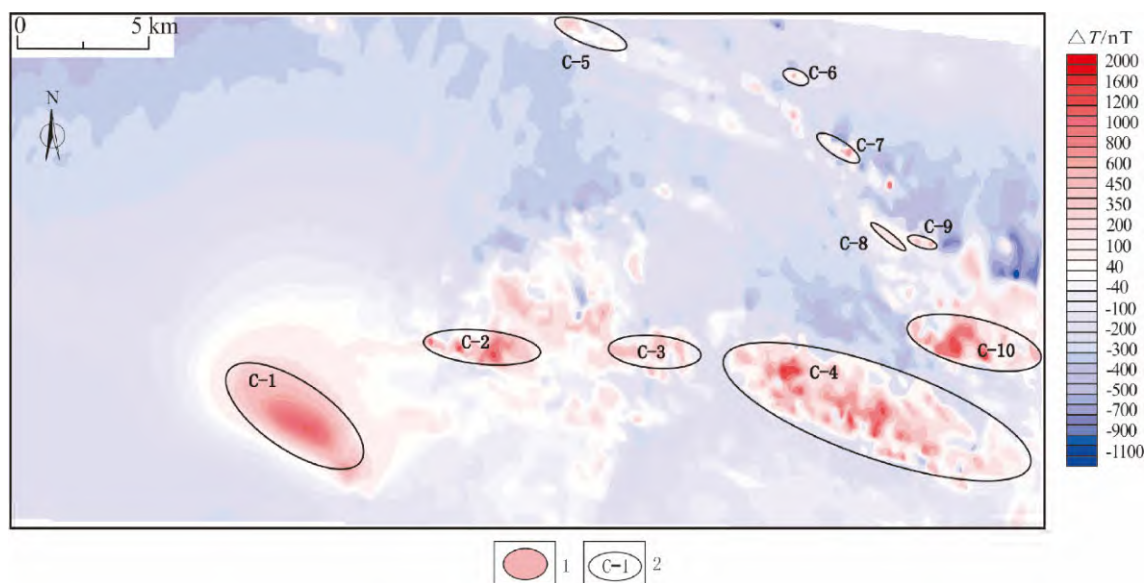


图5 研究区1:5万高精度磁测异常综合平面图

1—正磁异常;2—磁异常范围及编号

表 3 1:5 万高精度磁测异常成果

异常 编号	ΔT 异常特征	地质解释及查证
C-1	椭圆状,异常轴方向北西,面积约 21 km ² ,异常梯度南缓北陡,无伴生负异常,异常极大值 1200 nT,普遍强度为 100~800 nT,上延 300 m、500 m 异常明显,有较大延伸	推断为隐伏岩体引起,存在磁铁矿化。根据钻探验证 100 m 以下见超基性岩,岩性为蛇纹石化斜辉辉橄岩,具强碳酸盐化及少量磁铁矿和铬尖晶石星点
C-2	条带状,近东西,面积约 5 km ² ,异常强度值集中在 100~700 nT,极值 1200 nT,磁场梯度较陡,北部有伴生负磁异常。经化极和上延处理后异常西部延伸浅,东部延伸较大	异常区位于石炭世花岗岩与滩间山群火山岩接触带,主体岩性为正长花岗岩,发现铁矿化点,推断异常为局部富集铁磁性物质引起。异常中心东侧有化探异常 HS07-乙 3-Au-Cu-Ag-Bi-Mo-W-Zn
C-3	块状,面积约 2 km ² ,异常梯度较缓,强度集中在 100~500 nT,北部伴生负磁异常。化极后异常向北偏移明显,上延 300 m 异常面积扩大	推断磁异常为花岗岩引起,已知断裂 F14、F13 及推断构造 CF2 经过,异常西部有化探异常 HS07-乙 3-Au-Cu-Ag-Bi-Mo-W-Zn
C-4	条带状,面积约 30 km ² ,极值大于 1000 nT,主要集中在 200~800 nT,经 300 m 上延发现异常为一整体。剖面图上,横向上异常连续性好,纵向呈锯齿状	异常区位于滩间山群火山岩与奥陶世闪长岩及接触带上,已知硫铁矿分布于高磁异常上,沿断裂分布,推断异常为岩石及铁磁性物质矿化、富集综合引起。异常中心处有化探异常 HS09-乙 2-Au-Cu-Bi-W-Zn
C-5	条带状,面积约 2.4 km ² ,无伴生负磁异常,异常极大值大于 300 nT,主要集中在 50~200 nT,上延 500 m 异常消失	地质调查显示异常区小型断裂发育,位于钙质绿泥绿帘片岩和斜长角闪岩接触带,推断异常为构造带处局部蚀变矿化所致。异常包含于化探异常 HS03-乙 1-Ag-As-Au-Co-Cr
C-6	椭圆状,面积约 0.56 km ² ,北面有伴生负磁异常,异常极大值大于 600 nT,主要集中在 100~500 nT,上延 300 m 异常消失。负异常数值为-100~-400 nT	根据地质资料,此处无断裂构造通过,正值异常中心为花岗岩南缘,且伴生负磁异常明显,推断异常小型侵入岩体物质引起
C-7	椭圆状,面积约 1.6 km ² ,极值 1250 nT,北西侧为伴生负磁异常,异常强度-700 nT。正异常强度为 100~500 nT。化极后异常形态、位置基本无变化,上延 300 m 异常消失	地质调查显示异常区多条小型构造通过,区内有小型金矿床,位于负磁异常带上,产出于滩间山群火山岩的构造带。异常区主要岩性为蛇纹岩和滩间山群火山岩。推断高磁异常由与金矿密切相关的铁磁性矿物富集引起。异常包含于化探异常 HS04-甲 2-Au-Cu-Ag-Pb-Bi-W-As-Zn
C-8	条带状,面积约 1.5 km ² ,无伴生负磁异常,异常极大值大于 300 nT,主要集中在 40~150 nT,上延 300 m 异常消失	根据地质资料,异常区内无已知断裂构造通过,岩性为英云闪长岩,异常中心有闪长岩脉侵入。该异常未发现地质矿化信息,推断该异常为岩性引起,不排除局部蚀变矿化。化探异常 HS04-2-Ag-As-Au-Co-Cr-Cu-Hg
C-9	椭圆状,面积约 1.2 km ² ,强度 300 nT,其北西有一伴生负磁异常,强度为-200 nT。上延 300 m 异常消失	异常区西南部有两金矿产出,出露于奥陶世英云闪长岩中,且处在断裂带、岩性接触带边缘。且处于化探异常 HS04-甲 2-Au-Cu-Ag-Pb-Bi-W-As-Zn 中,综合成矿条件好
C-10	椭圆状,面积约 14 km ² ,异常数值主要集中在 100~1200 nT,极值大于 1500 nT,其西侧有伴生负磁异常,强度-600 nT。上延 300~500 m 异常面积缩小,但中心区域一直在北西向构造上,且其轴向基本与断裂一致	区内出露主要岩性为花岗闪长岩、英云闪长岩,高磁异常区的断裂带附近存在多个金矿化点,化探乙级异常。推断异常由岩体及局部铁磁性矿物富集所致

磁值逐渐减小。而北部磁场梯度较陡,场值下降迅速。化极处理后,异常中心向北东偏移,结合磁场梯度特征,认为隐伏体向北东倾斜。

为查证 C-1 异常地质解释的合理性,大致了解推断隐伏岩体的埋深特征,在异常区布置北东向 1:1 万磁法剖面 and 激电中梯剖面,结合 C-1 异常区已施工完成钻孔,利用钻探资料对异常查证结果进行工程验证。

异常区北东部粗粒二长花岗岩,标本剩余磁化强度 $12.6 \times 10^{-3} \sim 114.8 \times 10^{-3}$ A/m,引起的磁异常为 8~72 nT,南部石炭纪正长花岗岩,标本剩余磁化强度 $24.6 \times 10^{-3} \sim 104.6 \times 10^{-3}$ A/m,所引起的磁异常为 15~66 nT,均小于实测磁异常强度,综合推断异常区内高磁异常为一隐伏岩体引起,其岩性与北东或南部出露的岩性不同,或富集铁磁性物质,磁测剖面显示,横向上异常连续性好。

其电性特征总体表现为:从南向北视电阻率逐渐降低,视极化率逐渐增大且变化剧烈,主要的“低阻高极化”区域集中在磁法异常C-1的中北部,其电阻率小于 $100 \Omega \cdot \text{m}$,视极化率一般大于 5%,极值 20%。异常区岩性为石炭世中粗粒正长花岗岩,视电阻率值为 $171 \sim 5260 \Omega \cdot \text{m}$,均值 $2159.7 \Omega \cdot \text{m}$,极化率值为 0.37%~2.67%;南部出露石炭纪二长花岗岩,视电阻率值为 $1050 \sim 18987 \Omega \cdot \text{m}$,均值 $6573.4 \Omega \cdot \text{m}$,极化率值为 0.83%~2.99%。

通过电、磁精测剖面查明 C-1 异常原因,认为

C-1 异常为隐伏岩体引起,局部铁磁性物质富集,磁场梯度南缓北陡,经化极、向上延拓显示异常中心向东北偏移,激电中梯“低阻高极化”异常集中在剖面北东端也证明隐伏体向东北倾,高磁、低阻、高极化重叠套合性好(图 6),对磁测剖面利用切线法对磁源的埋深进行推算(图 7),根据经验公式 $h = \frac{1}{2} [\frac{1}{2}(x_1 - x_2) + \frac{1}{2}(x_{21} - x_{11})]$,其中参数 $x_1=4060 \text{ m}$, $x_2=3220 \text{ m}$, $x_{21}=3050 \text{ m}$, $x_{11}=1520 \text{ m}$,推算磁源深度为 118 m,利用中国地质调查局 RGIS 软件推算磁源深度为 120 m,两种方法推算深度基本一致。

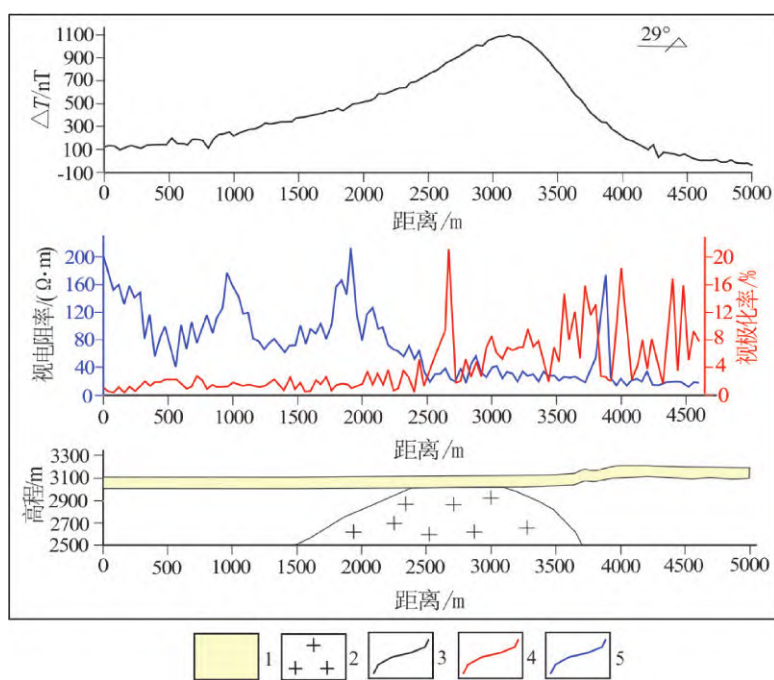


图 6 C-1 异常区中典型剖面综合解释图

1—第四系;2—推测隐伏岩体;3— ΔT 曲线;4—视极化率曲线;5—视电阻率曲线

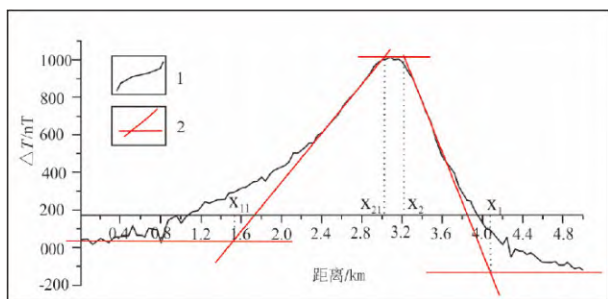


图 7 C-1 异常区高精度磁法剖面切线图

1— ΔT 曲线;2—通过 ΔT 曲线极值点及拐点所作切线

3 异常圈定及工程查证情况

研究区位于柴北缘结合带,加里东期岩浆岩活

动强烈,区内金、铜矿产或磁异常区分布特征明显,主要为北西向分布,多呈带状,受构造控制。结合区内成矿特征和磁测资料,对矿体、矿点、矿化带与构造、磁场特征对应关系进行对比,总结成矿有利地段特征为:(1)已知金矿严格受北西向构造控制,基本分布于构造上或附近,磁场特征为密集梯度带,有正值梯度带也有负值梯度带;(2)金矿点、矿化点分布于磁场梯度带上,正值、负值一侧均可能(正值一侧多些),具体与基岩磁性强度关系密切;(3)铁矿点位于强磁场区,铜金矿点位于构造带或附近,磁场梯度带上,正值、负值两侧均可能。

磁异常区的圈定是在结合已有的成(控)矿规律,综合分析地质、化探及磁场特征的基础上,认为

有利于成矿或矿化的区域,为异常部位或几个同类型磁异常的集合体,对于成矿地质条件优越、成矿事实有小型以上规模的矿床产出,物化探异常信息丰富,并与成矿事实、成矿地质条件耦合,尤其是物探异常规模大、强度高的地区,可作为矿致异常区的圈定重点。基于上述原则,研究区内共圈定磁异常区10处,其中C-1磁异常经钻探验证100 m以深为超基性岩(韩生福等,2007^①),岩性为蛇纹石化斜辉橄榄岩,具强碳酸盐化及磁铁矿化和铬尖晶石星点,验证了该异常为超基性岩含磁铁矿引起。

4 结论

(1)基于成矿条件、控矿因素的研究,系统总结磁场的总体特征、异常分布特征,结合矿床、矿化点、含矿构造与异常分布的套合关系,圈定磁异常区10个,利用工程验证成果证实了磁异常区的合理性和有效性。

(2)采用面积性磁测快速了解区域磁场特征,圈定磁异常,采用综合物探精测剖面进行异常查证,圈定找矿有利靶区,采用少量工程进行异常验证,形成利用综合地球物理方法圈定找矿有利靶区的基本方法和原则,该方法显著提高圈定矿致异常的准确性,对具有相似成矿背景的地区具有一定的指导意义。

注 释

- ① 韩生福,宋恩玉,宋顺昌,章午生,王力援,刘兆祥,邢岩,赵登福,马文有,李明喜,王臣,薛永生,邢俊武,李永地,张军,曾广文,陆智平,王利文,王晓红,郝维杰,顾锡莲,黄清华. 2007. 青海省重要金属矿产资源潜力分析及找矿靶区预测都兰成矿远景区研究总结报告[R]. 西宁:青海省国土规划研究院.

参考文献

丰成友,张德全,李大新,崔艳合. 2002. 青海赛坝沟金矿地质特征

及成矿时代[J]. 矿床地质, 21(1): 45-52.

赖华亮,李顺庭,王建,杨克水,侯振广. 2020. 青海柴北缘青山金矿综合找矿方法研究[J]. 矿产勘查, 11(2): 311-320.

思积勇,夏友清,张元. 2021. 高精度磁法测量在青海大格勒沟地区镍钴铁矿勘查中的应用[J]. 矿产勘查, 12(2): 355-361.

孙崇仁. 2008. 青海省岩石地层[M]. 北京:中国地质大学出版社.

唐名鹰,何宗周,朱德全,张宇,高振华,董振昆,李小东. 2021. 柴北缘赛坝沟金矿床硫、铅同位素组成:对成矿物质来源的指示[J]. 矿床地质, 40(1): 117-127.

唐名鹰,彭永和,朱德全,李书凯,田孟. 2016. 青海赛坝沟金矿床IV-3号矿体原生晕特征与深部预测[J]. 物探与化探, 40(3): 475-481.

童海奎,张顺桂,许国武,黄银宝. 2009. 乌兰县赛坝沟韧性剪切带型金矿特征及成因[J]. 西北地质, 42(1): 88-94.

吴其斌,马冰,张桂平. 2015. 近年来国外勘查地球物理的若干进展与趋势[J]. 物探与化探, 39(6): 1261-1266.

张平,龚志强,杨生. 2016. 高精度磁法在青海铜峪沟铜矿勘探中的应用[J]. 矿产勘查, 7(3): 488-492.

张拴宏,周显强,田晓娟,宋友贵. 2001a. 托莫尔日特金矿区韧性剪切带及其控矿作用[J]. 地质与资源, (1): 18-24.

张拴宏,周显强,田晓娟,宋友贵. 2001b. 青海乌兰县托莫尔日特金矿区稳定同位素特征及其地质意义[J]. 地质与勘探, 37(5): 10-14.

张拴宏,周显强,纪占胜. 2003. 韧-脆性剪切带构造控矿演化模式——以青海省乌兰县托莫尔日特金矿区为例[J]. 矿物岩石, 23(1): 37-41.

张拴宏,周显强,田晓娟,宋友贵,杨美伶. 2002. 青海省乌兰县托莫尔日特金矿区构造应力场与流体运移势的计算机数值模拟[J]. 地质与勘探, 38(1): 40-45.

张玉瑜,王启蒙,任瑞鹏,路锋. 2018. 青海省乌兰县赛坝沟地区金成矿地质特征及找矿方向[J]. 地质调查与研究, 41(3): 191-196.

张振宇,袁桂琴,孙跃,王之峰. 2021. 地质调查地球物理技术标准现状与发展趋势[J]. 物探与化探, 45(5): 1226-1230.

中华人民共和国地质矿产部. 1993. 地面高精度磁测技术规程(DZ/T 0071-93)[S].

中华人民共和国国土资源部. 2016. 时间域激发极化法技术规程(DZ/T 0070-2016)[S]. 北京:地质出版社.